МОСКОВСКОЕ ОБЩЕСТВО ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ

ДОКЛАДЫ МОИП 1982 ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Издательство "Наука"
Москва 1985
С.98-102

Х. Мюллер, С.И.Сухонос

ЗАКОН НАИБОЛЕЕ ПЛОТНОЙ УПАКОВКИ ПО ВСЕМ СТЕПЕНЯМ СВОБОД БИОПРОСТРАНСТВА

(Доклад прочитан 19 мая)

Информация предполагает возможность изменения структуры системы. Эффективность такой перестройки гарантирована лишь для достаточно высокой, а в идеальной случае, — при максимальной скорости информационного процесса. Ведь получение реальной информации о системе в известной мере сопряжено с разрушением ее структуры; в любом случае за получение каждого бита нужно «платить» возрастанием энтропии системы. При возрастании ценности информации в ходе эволюционного процесса у живых систем это может иметь жизненно важное значение. Поэтому слишком медленное протекание информационных процессов в сложнодинамических системах может оказаться причиной их нежизнеспособности.

Суть нашей гипотезы заключается в том, что в любом случае максимальное значение скорости информационных процессов достигается при наиболее плотной упаковке по всем степеням свобод системы. В некотором смысле это означает соблюдение определенной многомерной замкнутости системы, если соответствующее пространство определять на множестве степеней свобод системы. Здесь мы уже сталкиваемся с понятием гомеостаза, то есть со способностью сложнодинамической системы сохранять стационарное целостное состояние. Иерархия конечных состояний («целей») в живых системах показывает доминирующую роль управления темпами потоков через систему, то есть сохранение равенства темпов притока и расхода энергии, а, следовательно, информации, является целью высшего порядка в биосистеме. Доказано существование теснейшей связи между конечными состояниями системы и реализацией в ней принципа экстремальности. Неизбежный вывод — в живых системах должен быть реализован принцип наиболее плотной упаковки по всем степеням свобод, позволяющей поддерживать максимальную из возможных в данной системе скорость информационных потоков.

Возникает вопрос о чисто пространственном, геометрическом проявлении фактической реализации принципа наиболее плотной упаковки. Для этого мы попытаемся представить кибернетическую модель соответствующей ситуации. Возьмем самый простой и поэтому самый общий случай, когда все элементы системы имеют одинаковую шаровую форму и одинаковый размер. Предлагаем геометрический способ решения задачи. Говоря о пространственном проявлении принципа наиболее плотной упаковки, мы, конечно, имеем в виду обычное трехмерное пространство. Поэтому изменение этой трехмерной структуры, как информационный процесс, может быть описано путем введения некоторой четвертой координаты, так что в конечном счете наша задача представляется четырехмерной. Для того, чтобы можно было решать четырехмерную задачу на плоскости, необходимо и достаточно найти способ однозначного перевода «четырехмерной» информации в «двумерную». Введем безразмерную энтропию $\sigma = S/k$, где S — энтропия, k — постоянная Больцмана. Тогда четырехмерная информация есть просто число степеней свобод двумерной системы: $2 = \log_2 4$. Тем самым, при переводе результатов следующих из двумерного представления, в реальную четырехмерную ситуацию необходимо иметь в виду, что любая двумерная информация имеет четыре степени свободы, то есть любое изменение двумерной структуры в действительности четырехкратно. Описана замкнутая модель системы шаров, подвергающихся сжатию. Полученный результат показывает, что при наиболее плотной упаковке вокруг одного центрального шара размещаются 13,8 шаров того же диаметра. В трехмерном случае это эквивалентно увеличению диаметра 12 шаров в 1,15 раз ($1,15 \times 12 = 13,8$).

Если наша модель отражает реальное положение вещей именно в том смысле, который мы в нее вкладываем, то наличие максимальной скорости информационных процессов в любой реальной системе должно приводить к образованию точной определенной пространственной структуры, а именно, информационной структуры, состоящей из 14,8 элементов.

Четвертое геометрическое измерение представляет собой масштабное измерение, в котором откладываются уровни иерархии материи. Наши выводы свидетельствуют за то, что минимально возможный шаг в этом измерении, который все еще ведет к свертке предшествующего уровня внутри следующей системы, должен быть равен увеличению размеров относительно следующего уровня в $1,15 + 2 = 3,15$ раз. На шкале десятичных логарифмов уровни будут отстоять друг от друга почти точно в 0,5 единиц. Огромная работа по обработке фактического материала, проделанная Л.Л. Численко [1], показала, что все таксоны высшего ранга отстоят друг от друга на логарифмической размерной шкале именно на 0,5 шага. Еще более точно данные числовые соотношения выполняются на уровне макромолекул (белков, ДНК, РНК). Состав оснований ДНК и РНК: аденин (5H + 5C +5N = 15), тимин (6H + 5C + 2N + 20 = 15), гуанин (5H + 5C + 5N + 10 = 16), цитозин (5H + 4C + 3N + 10 = 13), урацил (4H + 4C + 2N + 20 = 12). Таким образом, в ДНК количество элементов в основаниях колеблется от 13 до 16, а в РНК от 12 до 16. Известно, что природа лишь стремится к абсолютным соотношениям, поэтому желательно рассматривать максимально широкую совокупность, ища в ней статистическое проявление принципов симметрии. Если воспользоваться таблицей, заимствованной из книги К. Свенсона и П. Уэбстера [2], добавив в нее для каждого вида рассчитанные нами средневзвешенные значения количества атомов в основаниях ДНК, то видим, что несмотря на довольно широкую варьируемость соотношений оснований, среднее число элементов в одном основании колеблется в пределах 14,67 ÷ 14,97 или в виде формулы масштабной композиции: 1 + (13,67 ÷ 13,97). Среднегеометрическая и среднелогарифмическая величина разброса числа внешних элементов приблизительно равна 13,8.

Получена оценка числа степеней свобод, необходимых для адекватного моделирования связи информационных процессов различной размерности: $\Gamma_C = \mathrm{bin}I_1 + \mathrm{bin}I_2$, где Γ_C — число степеней свобод связи, I — числа измерений связываемых информационных пространств. Таким образом, число 12 есть количество степеней свобод, необходимых для реализации связи между двумерными и трехмерными информационными процессами: $12 = 2^2 + 2^3$, а четырехмерная информация связана с двумерной числом $20 = 2^4 + 2^2$. Формула показывает, что переходы к информационным пространствам, число размерностей которых превышает 4, сами по себе не приводят к появлению существенно новых законов композиции, то есть в принципе любые ($n > 4$)-мерные информационные переходы могут быть моделированы подходящими комбинациями ($n \leq 4$)-мерных связей. В таком случае самой богатой и исчерпывающей в композиционном плане является связка 1 + 12 + 20 = 33. Всевозможные ее повторы, инверсии и комбинации дают числа степеней свобод, необходимых для реализации связи между информационными пространствами любых размерностей.

При учете единственности информационного 0-пространства эволюция системы образующих информацию связи будет подчиняться следующему закону:

$$S_n = \sum_{n=0}^{\infty} X_{3n+k}$$

где $k = 0, 1, 2, 3$.

X_{3n+k} задаются выражениями:

$$X_{3n+3} = X_{3n}(1 + 2m_1 + 2m_2),$$
$$X_{3n+2} = X_{3n}(1 + m_1 + m_2),$$
$$X_{3n+1} = X_{3n}(1 + m_1)$$
$$X_0 = p$$

где $m_1 = 12$, $m_2 = 20$.

Исследование ситуации наиболее плотной упаковки степеней свобод показало, что геометрически она проявляется как увеличение числа степеней свобод связи в 1,15 раз. В связи с этим в живой природе, по-видимому, следует ожидать систему образующих информации связи типа p + 13,8 p + 20 p, то есть $m_1 = 12 \cdot 1{,}15$. При этом $m_2 = 20$ с необходимостью, иначе четвертое информационное измерение не может обеспечить нужную для осуществления следующего эволюционного шага — инверсии (двумерной) — степень разомкнутости. Действительно, реализация $m_2 = 20 \cdot 1{,}15 = 23$ означала бы полное замыкание четвертого измерения по отношению ко второму и тем самым исключала бы всякую возможность эволюции системы образующих информации связи, что в свою очередь наложило бы запрет на эволюцию информационной структуры живых систем вообще.

Таким образом, найдено отличие живого от неживого, заключающееся в реализации принципа наиболее плотной упаковки по всем степеням свобод, а тем самым, достижения максимальной скорости информационных процессов в живых системах, что проявляется и как максимально возможная плотность информации в четвертом геометрическом измерении и как экстремальность масштабной организации биопространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Численко Л.Л.* Ж.О.Б., 29, № 5, 1968, с. 529.
2. *Свенсон К., Уэбстер П.* Клетка. М., Мир, 1980, с. 62.

С.И. Сухонос

СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

(Доклад прочитан 19 мая)

Рассматривается система S, погруженная в реальное пространство и имеющая диаметр $\varnothing$. S состоит из N элементов, связь между которыми поддерживается за счет дискретных временных информационных сообщений длительностью Δt, которые передаются с максимальной скоростью Vmax за среднее время t между ее элементами.

Спрашивается, за какое время (T) вся система «заполнится» информацией? Очевидно при $\Delta t = const$ это зависит в первую очередь от способа передачи информации. При передаче по цепочке (линейно) $T_1 = Nt$, в плоскости $T_2 \sim \sqrt{4N/\Pi} \cdot t$, в объеме $T_3 \sim \sqrt[3]{6N/\Pi} \cdot t$. Следовательно, при возрастании мерности пространства, в котором происходит передача информации, скорость заполнения ею также возрастает. Для четырехмерного пространства T_4 должно быть еще меньше и можно предположить, что для любого n

$$T_{n+1} < T_n \quad (1)$$

В общем случае для выполнения этого условия необходимо, чтобы «информационное расстояние» в (n+1)-мерном пространстве было меньше или равно «информационному расстоянию» между элементами в n-мерном пространстве S. «Информационное расстояние» между элементами складывается из двух основных компонент: $t_i = \Delta t + t$. Покажем, что для четырехмерного пространства наше утверждение (1) выполняется даже если пространство не искривлено и остается евклидовым при соблюдении дополнительных условий:

$$\Delta t_{min} \geq t_{max} \quad (2)$$

Экстремизация параметров необходима для рассмотрения реальных систем /I/ и условие (2) говорит о том, что длительность сообщения всегда больше (или равна) времени этого сообщения «в пути», какие бы элементы системы мы не взяли.

Именно в этом случае информация в S может распространяться не фронтом («диффузно»), а масштабно, по уровням иерархии. Поэтому, если разбить систему на ряд подсистем, затем уже подсистемы на ряд подсистем и т.д. вплоть до собственно элементов, получится иерархически (или масштабно) организованная структура, которая при условии (2) будет заполняться информацией по геометрической прогрессии (лавинообразно и с огромной скоростью). Ранее автором было показано, что масштабное измерение можно считать четвертым измерением, т.к. оно связано со временем. Поэтому $T_4 \sim j \cdot \Delta t_{min}$, где j. — число уровней в системе. Т.к. в самом общем случае $j = \log_K N$, где K — среднее число элементов в каждом уровне, то легко доказать, что при $j \geq K$, для любых K $T_4 < T_3$. В предыдущей работе было показано, что при соблюдении принципов экстремальности $n \leq 4$. Таким образом утверждение (1) с дополнительным условием (2) показывает, как без привлечения сложных топологических представлений об искривленном пространстве (сигнал распространяется не в «подпространстве», а в обычной физической среде) достигается условие «информационной близости» удаленных друг от друга элементов. В первом приближении из этого условия следует, что сигнал распространяется мгновенно и не играет никакой роли реальное расстояние внутри S. В этом случае можно говорить лишь о неевклидовом информационном пространстве, в котором структурно удаленные элементы оказываются в близком контакте.

Для систем с минимизацией функции T возникает условие максимизации n — функции мерности. Они стремятся в силу этого к предельной масштабной организованности. Минимизация функции T дает преимущество для динамических систем, стремящихся к сохранению целостности за счет мобильности управления. Целостность элементов системы ведет к появлению нового масштабного качества, к появлению нового устойчивого масштабного уровня. В динамике этот процесс ведет к возникновению уровней организации как таковых, т.е. к упорядочиванию первичных элементов в усложняющиеся системы. Таким образом, двигателем любой эволюции следует считать минимизацию функции T, т.е. стремление к сокращению информационного объема системы, стремление к информационному коллапсу, сингулярности. Мы видим здесь как из динамики (как общего свойства системы) вытекают два противоречащих друг другу, взаимно отрицающих друг друга свойства: свойство движения, ведущее к расширению системы, и свойство целостности, сохранности самой системы, ведущее к минимизации времени заполнения ее информацией, к «информационной гравитации». Наличие динамики, как свойства материи, обуславливается выполнением закона сохранения энергии и присуще всем системам. (Информационная изоляция части общей системы ведет к нарушению закона сохранения энергии, т.к. отделившаяся часть унесет часть энергии данной системы.) Собственно именно поэтому из одного лишь закона сохранения энергии следует логический вывод необходимости наличия как кинетической энергии (динамика системы), так и потенциальной (целостность системы).

Следует обратить внимание также на внутреннюю противоречивость самой тенденций к минимизации T, т.к. этот процесс с одной стороны ведет к образованию новых масштабных уровней, а с другой стороны — к информационному коллапсу, разрушающему эти уровни. Т.к. полный коллапс системы невозможен из-за закона сохранения энергии, то реализуются частичные или локальные коллапсы внутри системы. Динамика этого процесса не разбирается.

Отдельно разбираются условия перехода от 4-системы к 3-системе, т.е. от масштабно организованной, упорядоченной по уровням — к полицентрической. Переход осуществляется при выполнении равенства:

$$\Delta t_{min} = t_{max} = \varnothing_{max}/V_{max} \qquad (3)$$

Таким образом, если в системе известна максимальная скорость передачи информации и минимально возможная длительность информационного сообщения, то подставляя значения в (3) мы получим ограничения информационного порядка на возможность реализации 4-системы большего размера чем $\varnothing_{max}$.

Этот вывод проверяется для биосистем. Известно, что в жидких системах атомы колеблются со средней частотой 10^{13} c^{-1} /2/. Этим определяется значение Δt_{min}, а $V_{max} = c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с. Полученный критический размер $\varnothing_{max} = 3 \cdot 10^{10}$ см является средним размером клеток, перехода от одноядерных к многоядерным клеткам, с которого начинают образовываться колонии многоклеточных, и наименьшим размером многоклеточных (коловратки). Следовательно, вывод, сделанный системно, о переходе в данном размере от масштабноорганизованных систем к полицентрическим оказывается верным. Внутри клетки можно насчитать не более 10 уровней организации, поэтому $T_4 \sim 10 \cdot 10^{-13}$ с, т.е. заполнение клетки сигналом осуществляется практически мгновенно. Утверждается, что это является причиной удивительной синхронности и самосогласованности идущих в клетке процессов. Предполагается, что в ходе эволюции данное ограничение по размерам не дало возможности прямого увеличения размеров биосистем с масштабной организацией и привело к появлению растительного мира с преимущественно диффузной системой информационной связи между клетками. В дальнейшем противоречие могло быть снято лишь за счет увеличения базисного периода. Поскольку макромолекулы из-за относительной неустойчивости своей структуры не могут служить источником стабильных базисных колебаний, потребовалось создание автономной информационной системы с возможностью генерации стабильных импульсов большего периода.

На примере человека показывается, что нервная система полностью удовлетворяет эти требованиям; $V_{max} = 10^4$см/с, $\Delta t_{min} = 1/70 = 0{,}015$ мс и по формуле (3) $\varnothing_{max} = 1{,}5$ м, что достаточно хорошо для приближенного анализа совпадает с предельным размером нервной системы человека.

Так как предельный размер клетки в 10 раз больше среднего размера атомов, а предельный размер нервной системы человека в 10 раз больше среднего размера нейрона, можно написать формулу для элементов 4-системы:

$$\varnothing^{э}_{max} = 10^{-5}\,\Delta t_{min} \cdot V_{max} \qquad (4)$$

Формула системна за исключением эмпирического коэффициента масштабного подобия, который имеет космологическую природу /3/. Проверка этой формулы произведена для астрономических объектов. По известным периодам звездных пульсаций получены диаметры долгопериодических, карликовых, типа UV Кита и пульсаров. Значения диаметров согласуются со справочными данными. При проверке формулы для солнечной системы выяснилось, что периоды солнечной активности связаны с орбитами планет и достаточно хорошо вычисляются из последних.

Все это показывает плодотворность системно-информационного подхода для анализа типа структуры систем различной природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ассеев В.А.* Экстремальные принципы в естествознании и их философское содержание. Л., ЛГУ, 1977, 342 с.
2. *Френкель Я.И.* Кинетическая теория жидкостей. М.-Л., 1945, 273 с.
3. *Сухонос С.И.* Знание — сила, 1981, № 7, с. 31–33.